

# 진공관형 태양열집열기

곽희열

한국에너지기술연구원/선임연구원, 공학박사

## I. 개발과정

### 1) 개발동기 및 배경

오늘날 우리 나라는 소득수준 향상과 더불어 석유, 가스, 전기 등의 고급에너지 소비가 급증하는 반면 석탄소비의 감소로 에너지의 해외 의존도 및 석유의 존도가 점차 증가추세이다. '00년 통계에 의하면 국내 소비 에너지 사용량의 98% 이상이 수입에 의존하고 있으며, 지구 환경문제와 관련하여 지구 온난화의 원인 중 화석연료에 따른 영향이 55% 이상을 차지하고 있으며, 특히 이 중에서 연소시 발생하는 이산화탄소에 의한 지구 온난화 현상이 가장 심각하다고 할 수 있다. 이러한 문제들에 대한 해결의 일환으로 세계 각 국에서는 에너지 절약 기술과 아울러 대체에너지의 개발에 중단 없는 노력을 경주하고 있다.

대체에너지원 중에서 비교적 적은 연구개발 비용과 짧은 연구개발 기간에 실용화가 가능한 분야중의 하나가 바로 태양열에너지 이용분야이다. 특히, 태양열 이용기술이 산업용으로 접목되어야 하는 필연적인 이유는 산업체에서 값싼 에너지원의 안정적인 공급 요구와 화석에너지의 과다 사용으로 인한 결과로 지구환경 파괴에 대한 우려가 점점 고조되고 있다는 점 때문이다.

그 동안 태양열 이용보급분야의 실용화는 평판형 태양열집열기를 채용한 가정용 태양열온수기를 중심으로 상당히 보급이 활발하게 진행되어 왔다. 그러나 평판형 태양열집열기는 비교적 낮은 온도(70°C 이하)에서 온수 급탕 및 난방 보조 열원으로 높은 효율을 유지하는 집열기이며, 70°C 이상 열원을 요구하는 건물의 난방 및 냉방용으로의 이용은 효율적이지 못하였다. 궁극적으로 대체에너지로서 태양열분야의 최종목표는 온수급탕 뿐만 아니라 에너지 수요가 큰 중온(70~150°C)영역의 냉·난방과 산업공정열 분야

의 열원을 안정적으로 확보하는데 있기 때문에 우리나라의 여러 가지 환경을 고려하여 볼 때 중온용으로 가장 적합한 태양열집열기는 진공관형 태양열집열기라고 볼 수 있다.

### 2) 발명자의 공헌도

발명자는 1988년부터 한국에너지기술연구원에서 대체에너지원인 태양열에너지 분야에서 꾸준히 연구 개발하여 왔으며, 가정용 태양열온수기, 설비형 태양열시스템, 진공관형 태양열집열기, 추적식 포물선형 집광기, Dish형 집광시스템 개발 등에서 연구과제를 수행한 실적이 있다.

최근 들어 우리 나라 산업에너지 분야에 관심이 있어 산업자원부에서 주관하는 대체에너지 기술개발 분야에 “산업용 진공관형 태양열집열기 개발” 과제를 신청, 선정되어 1998년부터 2000년까지 3년간 연구를 수행하여 성공적인 평가를 받았다. 과제 수행과정에서 5개의 국내 특허를 출원 및 등록하였고, 현재는 상용화를 위하여 2001년부터 “진공관형 태양열시스템 실용화 및 응용기술”이라는 실용화 연구과제를 참여기업((주)에이팩)과 함께 추진하고 있다.

### 3) 기술동향 파악

진공관형 태양열집열기 기술개발은 유리-금속 접합기술, 고효율 전열소자인 히트파이프 개발, Manifold 열교환 기술 개발로 구분할 수 있다.

#### ① 국내기술 동향

유리/금속의 접합에는 고분자재료, 금속재료, 무기재료 등의 접착제들을 이용할 수 있으며 특히, 진공 밀봉에 사용되는 금속/유리접합에는 유리재료가 지금까지 알려진 재료중 가장 우수한 재료로 알려져 있다. 고효율 진공관형 태양열집열기에 대한 실용화

연구개발은 에너지기술(연) 태양열이용연구팀에서 태양열 응용과 관련한 기반기술을 확립하고 있으며, 항공대학교 기계공학과에서 여러 가지 형태의 히트파이프 기반기술을 보유하고 있고, 인하대학교 무기재료과에서도 유리관 및 응용유리의 제작과 관련한 기술을 보유하고 있다.

또한 참여기업인 (주)에이팩은 고효율 전열소자인 히트파이프를 이용한 전자장비(이동통신 중계기, 컴퓨터, 프린터 등) 냉각장치를 설계 및 제작하여 제품을 생산하는 설비를 가동하고 있다. 진공관형 태양열 집열기 실용화에 히트파이프 전문 제작업체인 (주)에이팩의 참여로 훨씬 실용화가 가속될 것으로 사료된다.

② 국외기술 동향

영국의 Thermomax사는 고효율 전열소자로서 히트파이프를 채용한 진공관형 태양열집열기를 개발하여 시판하고 있고, 일본의 일본전기조차(Nippon Electric Glass Co., Ltd)에서는 Sun Tube 또는 Sun Family라는 이름으로 진공관형 태양열집열기를 개발하여 시판하고 있다. 또한, 호주에서는 Evacuated Solar Collecting Tube의 연구개발을 완료하였으며, 중국은 100여 개 업체에서 태양열 관련 평판형집열기, 이중진공유리관형 집열기, 온수기 등을 생산 판매하고 있다. 이밖에도 유럽을 비롯한 많은 나라에서 동절기에도 높은 효율을 유지하는 진공관형 태양열 집열기 개발 및 상용화에 매진하고 있다.

4) 연구개발 계획 및 과정

본 발명과 관련하여 산업자원부와 에너지 관리공단에서 시행하는 대체에너지 기술개발 사업에 선정되어 1단계로 “산업용 진공관형 태양열집열기”과제로 연구개발을 성공적으로 마무리하였으며, 2단계 실용화 연구사업으로 선정되어 “진공관형 태양열시스템 실용화 및 응용연구”과제를 수행 중에 있으며, 년차별 구체적인 연구개발 계획 및 과정은 다음과 같다.

- 연구 개발 계획
- 1차년도 (1998)
  - 진공관형 태양열집열기의 기술동향 분석
  - 집열기용 진공유리관 제작기술 분석
  - 태양열 이용에 적합한 히트파이프 설계 및 제작

기술 동향

- 산업용 중온범위에 적합한 용기, wick 및 작동 유체의 호환성 및 안정성 분석
- 중온 범위에 적합한 히트파이프의 작동특성 분석

□ 2차년도 (1999)

- 집열기용 진공유리관의 제작기술 및 진공유지 기술 개발
- 히트파이프의 내외부 형상변화에 의한 열전달 성능 개선
- 집열관의 최적 형상 및 열접속 방법 개선
- 히트파이프 및 진공유리관 실용 제작기술 분석

□ 3차년도 (2000)

- 히트파이프 및 진공유리관 성능 향상 실험 및 내구성 시험
- Module화 된 진공관형 태양열집열기 시스템 적용기술
- 태양열 이용을 위한 진공관형 집열기의 설계 및 제작기술 확립

- 실용화 기술 개발 계획

□ 1차년도 (2001)

- Borosilicate glass tube/구리관 직접 접합 공정
- 구리관 drawing 및 전처리 공정
- 히트파이프와 manifold 열교환 기술
- 중온범위 히트파이프용 모세관 구조물 설계 및 제작 공정 개선
- pyrex 유리/구리관 접합성능 개선

□ 2차년도 (2002)

- Soda-lime glass tube/구리관 직접 접합 기술
- Multi 고진공 배기 공정(10-6 Torr.)
- 진공관형 집열기 및 구성요소 내구성 시험
- 구리와 소다 석회 유리의 접합

□ 3차년도 (2003) 예정

- 산업용 태양열시스템 실증시험
- 중온용 진공관형 태양열 집열기 저가화 제작공정 분석
- 구리, stainless, kovar 등 금속을 sealing glass를 이용하여 소다 석회 유리와 밀봉하기 위한 seal-

- ing glass 개발
- 가속 수명시험 방법 개발

## II. 권리화 과정

### 1) 국내외 특허 출원 및 등록현황

진공관형 태양열집열기의 개발은 핵심기술개발, 즉 유리-금속 진공 밀봉기술이 전제되지 않고서는 추진 될 수 없다. 현재 국내외적으로 유리-금속 밀봉 기술에 관한 특허는 전혀 발표되지 않고 제품만이 출시되어 기술은 철저히 배일 속에 있는 상황이다. 따라서 기술개발에 어려움이 많았고, 또한 기술 보호 문제와 관련하여 특허 출원에 상당히 고민하였다. 본 연구 개발과정에서 특허출원 및 등록된 목록은 다음과 같다.

- “접합용 유리 조성물”에 관한 특허 1건 등록 (등록번호 제318181호, 2001. 12. 07)
- “경사 접합용 유리 조성물 및 그 응용”에 관한 특허 1건 출원 (출원번호 10-1999-0065809 1999. 12.)
- “진공관형 태양열집열기의 히트파이프와 내부 편형 매니폴더의 연결 구조”에 관한 특허 1건 출원 (출원번호 10-1999-0065821 1999. 12.)
- “산업용 진공관형 태양열집열기”에 관한 특허 1건 출원(출원번호 10-2000-0046819 2000. 8. 12)
- “동판과 봉규산염계 유리의 직접접합 방법”에 관한 특허 1건 출원(출원번호 10-2000-0046820 2000. 8. 12)

### 2) 분쟁의 유무

본 기술개발과 관련하여 출원된 특허는 5건은 국내에서는 최초로 산업자원부의 기술개발 사업에 의해 독자적으로 기술개발이 이루어졌고, 성공적인 개발에 이어 실용화 연구가 추진 중에 있다. 국내에서는 최초이기 때문에 분쟁은 생길 수 없다고 사료된다.

또한 외국의 경우에도 영국의 Thermomax회사 제품이 유리-구리 밀봉기술이 비슷하나, 접근방법이 서로 다를 것으로 추정되며, 개발된 제품과 유사한 특허 등록 건은 국내는 물론 국제 특허를 검색한 결과 나타나지 않았다. 또한 밀봉기술을 제외한 다른 기술들은 다른 방법을 사용하였기에 분쟁의 소재는 없을 것으로 사료된다.

개발된 기술은 진공관형 집열기에서 고효율 뿐만 아니라 산업분야에서 이용 효율을 증대시킬 것으로 사료된다.

### 3) 권리화 진척도

본 연구개발과 관련하여 1999년부터 한국에너지연구원의 자체 연구업무심의회 의결을 거쳐 고문변리사를 통하여 국내특허 5건을 순차적으로 출원하였고, 맨 먼저 출원(1999. 8.)한 “접합용 유리조성물”에 대해서는 2001년 12월에 특허 등록되었다. 따라서 순차적으로 출원한 특허가 등록될 것으로 전망된다. 특허 등록에 따른 기술의 권리화는 산업자원부 기술개발 사업 규정에 의하여 우선 참여기업이 모든 권리의 실시 권한을 갖는다. 현재, 참여기업이 시작품 제작과 더불어 다량 생산라인을 준비중에 있어 2002년도 후반기부터는 서서히 제품이 출시(2002년도 9월 맥주공장 진공관형 500개 시범설치 예정)될 것으로 전망된다.

## III. 기술성

### 1) 독창성과 개량성

진공관형 태양열집열기의 장점은 진공관형 태양열 집열기는 태양 복사광에서 직달성분과 산란성분 모두 유효해 산란 성분이 많은 우리나라의 경우 유리하다. 열응답성이 빠른 고효율 전열소자인 히트파이프를 사용함으로써 인해 작동유체의 종류에 따라 다를 수 있지만 Liquid metal을 사용하는 경우 대략 구리에 비해 103배 정도의 열전도도를 갖는다. 따라서 실용 기술 개발로 인한 산업 전 분야로의 확대가 가능하며, 진공기술을 사용함으로써 흡수면에서의 대류 열손실을 획기적으로 줄일 수 있어, 설치면적을 약 30%정도 줄일 수 있고, 중온 활용에서 높은 집열효율을 유지한다. 또한, 경량이고, 설치가 용이하며, 기존 건물의 외관과 친화적이다.

또한 세계 각국에서 개발되고 있는 진공관형 태양열집열기의 세부 제작 및 규격을 살펴보면 다음과 같다.

- 영국(Thermomax) - wickless heat pipe, 직경 약 70mm 유리관, 스테인레스 관과 동판사이에 1cm간격의 spot용접
- 일본(NEG) - SunTube, SunFamily, - Soda-lime glass tube, Bayonet 열교환기를 사용한 액

- 체순환형 및 액체저장형 - 결빙문제로 동경 이남에서만 판매
  - 호주(Univ. of Sydney) - All-glass형(Dewar flask) 집열기 - 내부유리 외벽에 sputtering을 이용한 selective coating, Compact Linear Fresnel Reflector (CLFR) - 태양열 발전
  - 중국(SUNDA) - 독일의 Daimler-Benz와 합작- wickless heat pipe, Thermal compression sealing
  - 한국(한국에너지기술연구원 / (주)에이팩) - Woven-wire heat pipe, Glass/copper tube direct sealing, Ultrasonic absorber welding, metal-metal heat exchanger manifold - 산업공정열 및 냉난방 활용
- 이상과 같이 각국의 규격들은 각각 독창성을 가지고 개발되었다.

## 2) 독점력

국내에서 연구 개발되고 있는 진공관형 태양열집열기는 현재 실용화 단계에 있으며, 실증연구(산업공정열- 맥주공장 예정 2002년 8월경)를 통하여 대체에너지 효과 및 에너지 절감효과 등이 검증될 것이다.

국내에서 개발된 진공관형 태양열집열기는 산업용으로 개발된 중온용(70 ~150°C)으로 독창성을 가지고 있다.

진공관형 집열기는 평판형 태양열집열기에 비해 중온용에서 높은 효율을 유지할 수 있기 때문에 냉난방 및 산업공정열 응용에 적합하다.

국내에서도 외국산 진공관형 집열기를 수입하려고 많은 업체들이 시도를 해 보았으나, 신뢰성 및 가격경쟁력 때문에 수입되지 못한 것으로 알려져 있다.

## IV. 실용성

### 1) 생산실시 여부

본 연구개발과 관련하여 참여기업으로 (주)에이팩이 공동으로 참여하고 있다. 산업자원부에서 주관하는 기술개발 규정은 참여기업이 일정 비율로 현금 및 현물을 투자하도록 되어있다. 연구개발 개요를 보면 다음과 같다.

- 분야 : 대체에너지기술개발(산업자원부, 에너지관리공단)

- 과제명 : 진공관형 태양열시스템 실용화 및 응용기술
- 기간 : 2001. 2. 1. - 2004. 1. 31.(3년간)
- 사업주관 : 한국에너지기술연구원
- 수행책임자 : 곽희열 (부서명 : 신재생에너지연구부)
- 참여기업 : (주)에이팩
- 총사업비 : 1,314,000천원 (정부출연 : 939,000천원 / 민간부담 : 375,000천원)

상기와 같이 참여기업에서 기술개발에 일정지분을 투자하고 있고, 또한 기업 자체적으로 설비 및 시설 투자를 진행하고 있다. 또한 금년(2002. 9.)도 중반기에 실시될 예정인 산업공정열(맥주공장) 실증연구에서 Field test를 거쳐 실증결과를 검증한 이후 보급이 추진 될 것이다.

### 2) 주변기술의 필요성

본 연구와 관련하여 중온용 히트파이프 제작기술, 진공기술, 용접기술, 선택적 도장 기술, 열교환기 제작 기술을 필요로 한다.

- 중온용 히트파이프 제작기술 : 히트파이프는 밀폐용기, 소량의 작동유체 그리고 다공성 워드로 구성되어 있다. 태양열을 이용하여 80~150°C정도 온도대의 산업용 히트파이프를 개발하기 위해서는 우선 작동 안정성을 고려한 작동유체의 개발과 태양열의 경우 작동매체 귀환을 중력에 의존하기 때문에 다공성 워드의 유, 무 또는 안정적인 작동을 위한 변형된 워 구조물에 대한 연구와 아울러 용기와 이들 구성인자들 간의 내구성 이 보장된 호환성문제 들의 면밀한 검토가 요망되고, 또한 이들의 제작기술 개발이 실용화를 목표로 하고 있기 때문에 제작공정에 대한 충분한 검토가 요망된다.

- 진공기술 : 고진공을 유지하기 위해서는 대부분 배기펌프(diffusion pump)를 사용하고 있는데, 진공 공간이 커질 수록 이에 소요되는 시간이 지수적으로 증가한다. 제작 단가를 줄이기 위해서는 보다 진보된 진공기술로 작업시간을 축소할 수 있어야 하며, 특히 수 작업으로 인한 시간을 단축하면서도 진공도를 우수하게 유지할 수 있는 방법의 개발이 필요하다고 사료된다.

- 용접기술 : 집열판과 히트파이프 혹은 냉각수

유로 등을 접합하는데 있어 열전달 경로에 존재하는 여러 형태의 열저항 요소를 최소로 줄이면서도 구조적 안정성을 유지할 수 있는 용접기술의 확보가 필요하다. 또한 히트파이프의 제작 후 한쪽 끝을 밀봉하는 기술에도 용접기술의 발전 여지가 있다고 생각된다. 이는 제작단가를 낮추는데 중요한 관건이라고 할 수 있다.

- 선택적 도장 기술 : 최근 국내에서(한국에너지기술연구소) 흑색크롬 선택박막 전착 기술이 확보되어 구리와 알루미늄 기판에 적용한 결과가 발표되었다. 이에 의하면 구리기판의 경우 흡수율 0.95, 방사율 0.17이며, 알루미늄 기판의 경우는 흡수율 0.94, 방사율 0.15로 측정되었다. 이에 의하면 관련 공정의 단순화와 대량생산 기술의 토대가 마련되었다고 할 수 있으므로 이 부분의 상용화에는 큰 문제가 없으리라고 예상된다.
- 열교환기 제작 기술 : 히트파이프를 사용하는 경우 집열판 상단의 manifold에는 열교환 장치가 필요하다. 히트파이프의 응축부와 열교환기 내의 냉각액과의 효율적 열접속을 위한 열교환기 방식에 대한 연구개발로 열전달 성능을 보장할 수 있는 설계 및 제작방법의 확보가 필요하다.

### 3) 국내기술 실사가능 여부 및 파급효과

#### ① 국내보급 활성화

대체에너지원 중에서 태양열분야의 국내 시장의 요구는 온수급탕, 냉·난방 및 산업공정열원의 안정적 확보에 있다. 그 동안 태양열분야는 평판형 태양열집열기의 보급으로 온수급탕 및 저온 산업공정열 분야에 주력하여 왔다. 그러나 동절기 열손실 문제로 저온분야의 응용에 국한되어 왔고, 지속적인 시장의 증온(70~150°C)범위의 요구를 충족시키지 못하였는데, 진공관형 태양열집열기의 연구개발 성공으로 보급 활성화가 기대된다. 또한 연구개발에 이어 참여기업으로의 실용화가 성공적으로 이루어 질 것으로 판단되는 향후 1-2년 후에는 산업분야의 실증시험 및 시스템 응용기술 개발을 통해 태양열 보급이 활성화 될 것으로 기대된다.

#### ② 기대효과

- 국내 대체에너지 분야 중에서 실용화 가능성이

높은 증온 태양열 적용분야로 산업용 이용효율 확대

- 건물의 냉난방 수요 충족뿐만 아니라 산업공정 열(80 ~150°C)의 적용으로 인한 대체에너지 이용 극대화로 인한 에너지 절감
- 대체 에너지 이용기술 개발로 인한 화석에너지 수입 절감 및 범국가적 에너지 절감
- 날로 늘어나고 있는 화석에너지 사용에 의한 환경오염(CO2 배출) 삭감
- 진공관형 태양열집열기의 수입대체 효과 및 수출효과
- 증온 태양열 분야의 개발을 통한 대체에너지 이용효율 극대화
- 진공기술의 도입으로 인한 고효율화로 원자재 절감, 제작공정의 반자동화를 통한 인건비 절감 및 생산성 향상

#### ③ 활용방안

- 산업용 저온공정 분야는 온도범위가 100°C 이하로서 콘크리트 & 벽돌의 양생, 식품용기 (병 또는 캔)의 세척용 온수 이용 및 염색공정 등에 적용
- 산업용 증온공정 분야는 온도범위가 100 ~ 180°C로서 산업체에서 사용되는 저압의 증기 이용 공정으로 식품가공업, 섬유제조업, 제지 및 펄프 공정의 건조 공정에 적용
- 또한 진공관형 태양열집열기는 설치면적을 기존 평판형에 비해 약30% 줄일 수 있고, 설치장소 및 경사각의 제약이 없으며, 기존 건물의 외관을 해치지 않을 것이다. 따라서 건물 외관과 친화적일 것이다. 즉 공공건물, 사무소, 공장 등의 옥외 주차장의 지붕재로 활용이 가능할 것이다.
- 공공건물 및 복지시설(요양소, 노인시설, 등)의 냉·난방 열원
- 상업용 건물의 냉·난방 열원

## V. 경제성

### 1) 시장규모

#### ① 국내시장

대체에너지 중 태양열 이용기기 보급실적은 가정용 태양열온수기 약 17만여기와 골프장, 양어장 등에

구분	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	계
가정용	11,453	2,142	2,036	4,026	7,796	16,106	41,149	77,226	12,012	173,946
골프장	34	14	10	8	3	6	6	11	11	103
양어장	5	8	3	-	3	5	5	5	10	44
온실지 중난방	-	-	-	-	-	-	9	71	40	120
기 타	2,450	3	5	4	6	1	9	28	49	2,555
합 계	13,942	2,167	2,054	4,038	7,808	16,118	41,178	77,341	12,122	176,768

\* 기타는 목욕탕, 여관 등 숙박시설, 식당 등의 태양열 온수·급탕 시설임

중대형 태양열 이용 시스템 150개소에서 이용되고 있으며, 연도별 기기별 보급현황은 표와 같다.

② 국외시장

일본의 태양열 시장은 자연형 시스템 200,000시스템/년, 설비형 시스템 20,000시스템/년으로 나타나며 집열기 회사는 NEG, SHIRO-KI, 신일본기연 등이 있다. 이 중에서 일본의 NEG는 약 150,000개/년간 정도를 생산 할 수 있는 반 자동설비를 갖추고 있다. 또한, 중국은 현재 전국에 100여 개 업체가 있으며 이 중에서 독일의 Daimler-Benz Aerospace사와 협력하여 설립한 Sunda라는 합작회사는 진공관형 태양열집열기를 연간 50만대를 생산 및 판매중이다.

2) 수입대체 효과

지구 온난화와 관련된 환경문제로 인하여 대체 에너지원인 태양에너지의 보급 확대가 절실히 요구되고 있다. 태양에너지 중에서 저온 활용(온수 급탕 및 난방 보조)은 활발히 보급되고 있다. 그러나 에너지 소비 비중이 높은 중 고온용 이용기술은 아직도 보급이 미진한 상태이다. 따라서 세계 각국에서는 중 고온용 태양에너지 이용기술 개발에 많은 노력을 경주하고 있다. 개발된 진공관형 태양열 집열기는 태양에너지 이용 효율을 극대화 할 수 있는 냉 난방 및 산업공정열 응용에서 높은 효율을 나타낼 수 있기 때문에 국내 수요는 물론 국외 수출 효과를 기대 할 수 있을 것으로 사료된다.

3) 환경관련 CO2 억제효과

지구 환경문제와 관련하여 지구 온난화의 원인 중 화석연료에 따른 영향이 55% 이상을 차지하고 있으며, 특히 이 중에서 화석연료에서 발생하는 이산화탄소에 의한 지구 온난화 현상이 가장 심각하다고 할 수 있다.

계 산 조 건	계 산 방 법	
	가정용태양열온수기	태양열 온수급탕 시스템
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 집열면적 태양열온수기 : 5m<sup>2</sup> 급탕시스템 : 10m<sup>2</sup></li> <li>• 전국평균집열면적사량 : 120만kcal/m<sup>2</sup>·년 (방위:정남, 설치각 : 30도)</li> <li>• 시스템 효율 : 40%</li> <li>• 원유발열량 : 9,250kcal/L</li> <li>• 원유CO<sub>2</sub>발생량 : 2.65kg/L</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연간원유절감량 = <math>\frac{5m^2 \times 120만kcal/m^2 \cdot 년 \times 0.4}{9,250kcal/L}</math> = 259.5L</li> <li>• CO<sub>2</sub> 환산량 = 168.6L × 2.65kg/L = 687.7kg</li> <li>∴ 삭감량은 687.7kg/대</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 연간원유절감량 = <math>\frac{10m^2 \times 120만kcal/m^2 \cdot 년 \times 0.4}{9,250kcal/L}</math> = 518.9L</li> <li>• CO<sub>2</sub> 환산량 = 337.3L × 2.65kg/L = 1,375kg</li> <li>∴ 삭감량은 1,375kg/대</li> </ul>

대체에너지원 중에서 태양열 이용 기기로서 가정용 태양열온수기와 강제순환형 태양열시스템에 대하여 원유 절감효과와 CO2배출억제 효과가 어느 정도 인지 계산해 보면, 연간 원유 절감량은 가정용 태양열온수기와 강제순환형 태양열시스템은 각각 259.5리터와 518.9리터로 나타났다.(표 참조) 또한 CO2 환산량은 시스템 당 각각 687.7kg과 1,375kg로 나타났다. 계산 결과에서도 알 수 있듯이 원유 절감량과 CO2 삭감량을 계산하는데 중요한 변수 중의 하나는 태양열온수기와 태양열시스템의 효율이다. 따라서 태양열 에너지 이용효율을 높이기 위해서는 고효율 태양열집열기 및 요소기술의 연구개발이 꾸준히 진행되어야하고, 고효율 시스템이 보급되도록 제도적 장치가 절실히 요구되고 있다.